

열매체 가열기 설비에서의 폭발위험관리에 관한 연구

장철* · 권진욱* · 황명환*

*인천대학교 안전공학과

A Study on Explosion Risk Management for Hot Oil Heater

Chul Jang* · Jin-Wook Kwon* · Myoung-Hwan Hwang*

*Department of Safety Engineering, Incheon National University

Abstract

In the industrial field, various type of fuel have been used for product processing facilities. Recent for 10 years, the usage of natural gas (NG) was gradually increased. Because it has many merits; clean fuel, no transportation, storage facility and so on. There are common safety concept that strict explosion protection approaches are needed for facilities where explosive materials such as flammable liquid, vapor and gases exist. But some has an optimistic point of view that the lighter than air gases such as NG disperse rapidly, hence do not form explosion environment upon release into the atmosphere, many parts has a conventional safety point of view that those gases are also inflammable gases, hence can form explosion environment although the extent is limited and present.

In this paper, the heating equipments (Hot Oil Heater) was reviewed and some risk management measures were proposed. These measures include hazardous area classification and explosion-proof provisions of electric apparatus, an early gas leak detection and isolation, ventilation system reliability, emergency response plan and training and so on. This study calculates Hazardous Area Classification using the hypothetical volume in the KS C IEC code.

KeyWords: Risk Management, Hazardous Area, Area Classification, Hot Oil Heater

1. 서론

열 공급 및 제공 설비(Heating Equipment)는 우리 산업 현장 및 실생활 다방면에서 사용되고 있다. 설비의 규모도 소형에서 중대형까지 범위가 다양하고 사용되는 연료도 소요 비용의 경제성 및 대기 환경 오염 방지 차원을 고려하여 기존 병커씨유에서 점진적으로 LNG(액화천연가스)로 대체되고 있으나 근래에 연료 종류별 가격구조 변동성에 따라 LNG 대체 사용 증가세가 영향을 받고 있다. LNG는 메탄이 주성분으로 LNG를 도시가스(City Gas, NG)로 공급하는 지역에서는 사업장 내에 정압기설을 설치하여 현장 설비 사용 압력에 맞도록 감압하여 사용하고 있고, 일부 수요

처에서는 LNG 저장시설 및 기화시설을 사업장 내에 설치하여 도입된 액화가스를 기화기를 통해 가열 설비에 공급하기도 한다.

LNG의 주성분인 메탄은 상온에서 기체 상태로 비점이 -161.5°C , 가스 밀도 0.8 g/l (@상온, 저압), 화재폭발범위 5 ~ 15%로 개방계 대기로 누출 시 급속하게 확산되어 화재 폭발의 위험성은 상당히 낮다고 할 수 있으나 누출에 따른 화재 폭발 가능성이 전혀 존재하지 않는다고 단정할 수는 없다. 가스 폭발을 예방하기 위하여 법적 의무사항이든 산업계 자발적인 활동이든 다양한 위험관리 프로그램이 산업 현장에 적용되고 있는데, 공기보다 가볍고 확산이 잘되는 가스를 상온, 저압에서 공정 설비의 연료로 사용하는 중소 규모의 비

†Corresponding Author : Myoung Hwan Hwang, Department of Safety Engineering, Incheon National University, Academy-ro 119, Yeonsu-gu, Incheon 22012, Korea, E-mail : mhhwang@incheon.ac.kr

Received July 21, 2017; Revision Received August 11, 2017; Accepted September 11, 2017.

석유화학 일반 제조 사업장 산업계에서의 해당 설비에 대한 위험관리의 유연화 (법 규제의 완화) 요구가 있기도 한다. 그렇더라도 공정안전에 대한 위험관리 수준이 석유화학 업종에 비해 그다지 높지 않은 소규모 비석유화학 사업장에 대해서는 밀폐계 (건물 내부) 누출에 따른 가스폭발 사고에 대한 예방관리가 또한 각별히 요구되고 있는 실정이다.

인화성 가스를 사용, 취급하는 사업장에서 가스 폭발을 예방하기 위해서는 1차적으로 누출을 방지 하는 것이 근본적인 해결책이지만 시설을 운영하는 과정에서 설비에 의해서든 사람에 의해서든 다양한 누출 가능성의 존재로 모든 누출 가능성을 차단할 수 없는 경우가 있어 보완적인 2차, 3차 대책을 강구하는 것이 필요하다. 통상적인 가스 화재, 폭발 예방 활동은 화재 폭발의 3 요소인 인화성 물질, 산소(공기), 점화원 중 점화원 특히 전기적 점화원 관련하여 공정안전 설계 및 현장 적용 (공정 방폭)이 비중있게 수행되고 있다. 국내 방폭관련 안전기술기준은 IEC 기준을 근거로한 KS 규격 (2012년 개정)을 따르도록 개정되어 국내 모든 사업장에 적용되고 있으나 기준의 개정 의도 (위험도 기반 방폭 관리)와 달리 실제 산업 현장에서 공정 방폭 관리 수준의 저하를 유발하는 상황이 발생할 가능성도 있게 되었다.

본 연구에서는 도시가스 (NG) 를 배관망으로 공급받아 연료로 사용하는 사업장에 대하여 현 국내 법적 기준에 따라 폭발위험지역 (방폭 구역) 설정을 검토하고 이를 다른 해외 선진 기준과 비교 분석을 통하여 가스 취급 사업장에서의 화재 폭발 예방을 위한 위험관리방안을 검토 제시하였다. 검토 해당 사업장 설비에서 취급하는 Hot Oil 도 고온 가열되므로 누출 시 화재 폭발의 위험성이 있으나 본 연구에서는 공기보다 가벼운 (상온, 상압 조건) NG 에 국한하여 검토하였다.

연구 검토 대상인 사업장에 설치된 가열용 설비인 열매체 가열기 (Hot Oil Heater) 는 일반 증기 및 온수 보일러와 달리 열 매개체가 물이 아닌 열매체 오일을 사용하여 저압에서 고온을 비교적 안전하게 얻을 수 있다. Hot Oil Heater 는 석유화학, 유화, 방직, 페인트 및 고무 제품 등 산업 전반에 사용되고 있으며 사용자 필요에 따라 입형, 횡형으로 설치되어 공간 활용성을 높이기도 한다. 또한 폐열 회수기를 설치하여 열효율을 90% 이상으로 높일 수 있고 안전 설계 조건에 따라 균일한 가열과 냉각의 운전을 수행할 수 있다. 다음 [Figure 1] 은 열매체 가열기 공정의 외관을 보여 준다.



[Figure 1] Hot Oil Heater Process

2. 폭발위험장소 구분

2.1 폭발위험장소 구분 대상

열매체 가열기를 운용하는 공장에서 가동 중인 3 개 설비 (Hot Oil Heater 1호기, 2호기, 3호기) 에 대하여 각 설비의 개별 연료 (도시가스, 천연가스) 공급 계통 연결 부위 3 곳 (정압기실에서 히터로 가는 연결배관 플랜지, 버너용 필터를 거친 버너 인입 연결배관의 플랜지, 천연가스 유량 제어 밸브 부위) 을 누출 가능 Point 로 선정하여 폭발위험장소 구분 계산을 실시하였다.

2.2 누출공의 면적 등 기본 정보 적용 근거

2.2.1 누출공의 면적

폭발위험장소 결정에 가장 큰 영향을 미치는 요소인 누출량의 산정 시 사용되는 기본 정보는 누출공의 면적이다. 누출공의 면적에 대해 현 국내 기준인 KS C IEC 60079-10-1(2012) (개정 IEC 2015 기준 내용 반영하여 개정안 추진 중) 에는 명시되어 있지 않고, IP 15 기준에는 누출 확률과 연계되어 누출공의 크기를 규정하고 있으나 실제 누출 확률을 임의로 적용해야하는 불확실성의 증대로 본 연구에서는 최근 기 개정 시행되고 있는 국제 기준인 IEC 60079-10-1(2015)의 '누출면적 산정 기준표 (Annex B. Table B.1)'의 기준 사항을 적용하였다. 동 기준표는 플랜지의 가스켓 형태, 배관 구경별 연결부, 밸브, 펌프, 부식의 정도, 파손 가능성 등 기준에 대해 선택할 수 있는 각각의 누출공 크기(면적) 가 작성되어 있다.

2.2.2 환기 품질 계수

환기에 의한 실내외 확산 농도의 구배, 환기 효율에 대한 확률적 확산의 정도, 환기를 방해하는 장애물의 구조적 배치 등에 따라 구분한 KS C IEC 60079-10-1(2012) 의 '환기 품질계수' 기준을 적용하였다.

2.2.3 환기 횟수

환기 횟수는 단위시간당 환기량을 실내 공간 체적으로 나누어 계산하므로 단위시간당 환기량을 산정함에 있어 자연환기에 의한 풍속, 풍압, 온도차에 의한 굴뚝 효과와 누출원의 운동량 및 부력, 국소배기의 배풍량, 전체 환기 배풍량에 의한 압력 및 재순환 과정 등에 따라 구분한 KS C IEC 60079-10-1(2012) 의 '환기 횟수' 기준을 적용하였다.

2.2.4 기타 자료

사용되는 물질 및 대상 설비 누출 가능 Point, 운전 압력, 운전 온도, 주변 온도 등 공정 운전 기초자료는 해당 공정 P&ID (공정배관계장도) 에서 제시하는 정보를 적용하였다.

2.3 누출 시나리오별 누출량 및 폭발위험범위 계산

2.3.1 서비스 물질의 물성

열매체 가열기 연료로 사용되는 천연가스의 물성 중 누출량 및 폭발위험범위 계산에 사용되는 주요 Data - 단열팽창지수(Polytropic Index), 폭발하한농도(LEL), 밀도 등 - 는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Physical Property and Explosion Characteristic of NG

Name	Composition	Molar Mass (g/gmol)	Polytropic Index	Ignition Temp. (°C)	LEL (vol%)	Density (g/l)	Explosion Characteristics
Natural Gas(NG)	CH4	16.05	1.36	500	5	0.8	IIA T1

2.3.2 폭발위험범위 산정을 위한 누출원 적용값

각 설비의 누출 시나리오별 (누출장소별, Location) 누출 조건 - 누출 등급 (Grade of Release), 누출공 크기 (Release Area), 운전 온도/압력 (Operating

Temperature/ Pressure), 대기 온도 (Outdoor Temperature), 누출원 주변 검토 대상 공간 체적 (Considered Volume), 환기 속도 (Venting Rate) 등 - 은 <Table 2> 와 같다.

<Table 2> Release Source Condition (*) S : Secondary

Facility	Location	Grade of Release	Release Area (mm ²)	Operating Temp. (°C)	Outdoor Temp. (°C)	Operating Pressure (pa)	Considered Volume (m ³)	Venting Rate (m ³ /h)
Hot Oil Heater No.1	Piping Flange	S (*)	0.25	20	25	20,000	10.2 x 3.4 x 3.9 (135)	5,832
	Burner Flange	S	0.1					
	Control Valve	S	0.25					
Hot Oil Heater No.2	Piping Flange	S	0.25	20	25	20,000	7.8 x 5 x 5 (195)	4,000
	Burner Flange	S	0.1					
	Control Valve	S	0.25					
Hot Oil Heater No.3	Piping Flange	S	0.25	20	25	20,000	7.5 x 4 x 8 (240)	4,000
	Burner Flange	S	0.1					
	Control Valve	S	0.25					

2.3.3 폭발위험범위 (가상체적) 계산

누출 시나리오별 누출 조건에 따른 누출량(Release Rate)과 폭발위험범위 (가상체적, Hypothetical Volume) 가 계산되었는데, 누출량 계산 시 적용된 안전계수(Safety Factor)는 설비 이상 발생 시 누출이 발생하는 상황을 반영하여 0.5 를 적용하였고, 폭발위험범위 가상체적 계산 시 적용된 환기품질계수(Quality Factor)는 가열기가 설치된 건물 내부에 환기에 장애를 줄만한 다른 설비가 없고 내부 공기 교체

율(Air Change Rate) 도 시간당 12 회 (KSC IEC 60079 기준의 내용 중 계산 예시 기준) 이상인 점을 고려하여 2 로 적용하였다. 폭발위험범위 계산 결과 중 각 설비별로 누출량이 가장 큰 누출 지점 기준으로 계산된 가상체적을 보면 1 m³ 정도 (1호기 0.42 m³, 2호기 0.89 m³, 3호기 1.09 m³) 로 작은 범위이었다. 누출 시나리오별 누출량, 희석 공기 필요량(Required Rate of Fresh Air), 가상체적 등 전체 계산 결과는 Table 3. 과 같다.

<Table 3> The Calculation Results about Hazardous Area Classification

Facility	Location	Release Rate		Required Rate of Fresh Air			Hypothetical Volume		
		Critical Pressure (pa)	Flow Rate (kg/s)	LELm (kg/m ³)	Safety Factor	Flow Rate (m ³ /s)	Quality Factor	Number of Air Change (No./s)	Volume (m ³)
Hot Oil Heater No.1	Piping Flange	189,352	4.011xE-05	0.033384	0.5	0.00244	2	0.012	0.42
	Burner Flange		1.604xE-05			0.00098			0.17
	Control Valve		4.011xE-05			0.00244			0.42
Hot Oil Heater No.2	Piping Flange	189,352	4.011xE-05	0.033384	0.5	0.00244	2	0.00569	0.89
	Burner Flange		1.604xE-05			0.00098			0.36
	Control Valve		4.011xE-05			0.00244			0.89
Hot Oil Heater No.3	Piping Flange	189,352	4.011xE-05	0.033384	0.5	0.00244	2	0.00463	1.09
	Burner Flange		1.604xE-05			0.00098			0.44
	Control Valve		4.011xE-05			0.00244			1.09

2.3.4 폭발위험장소 중별 결정 및 폭발 위험반경 계산

폭발위험장소 중별 결정 시 고려되는 요소는 누출 등급 및 환기등급 / 환기유효성으로, 누출 등급(Grade of Release)의 경우 설비 이상이 없는 정상 시에는 설비 설계 상 NG 누출이 예상되지 않으므로 KS C IEC 기준에 따라연속/1차/2차 3 개의 등급 중 '2차' 등급에 해당되는 것으로 판정하였다.

환기 등급 (Ventilation Degree) 은 3 개 설비 모두 계산된 폭발위험범위인 가상체적 (0.42 / 0.89 / 1.09 m³)이 각 설비의 검토 대상이 되는 건물 내부

공간 체적 (135 / 195 / 240 m³) 보다도 상당히 작아 KS C IEC 기준에 따라 모두 '중환기' 로 판정하였다.

환기 유효성 (Ventilation Availability) 에 대해서는 열매체 가열기 및 동 설비의 NG 누출 가능 지점이 건물 내부에 있지만 환기시스템이 충분히 제대로 작동되고 있으므로 KS C IEC 기준에 따라 3 개 설비 모두 '양호' 한 것으로 판정하였다.

폭발위험장소 중별 (Type of Hazardous Area - 0 중 Zone 0, 1중 Zine 1, 2중 Zone 2) 결정에 대하여

열매체 가열기 3기 모두 KS C IEC 기준의 누출 등급과 환기 등급/환기 유효성 조합 Matrix (Table 4.)에 따라 폭발위험장소를 '2중'으로 구분 판정하였는데, 누출에 따른 누출원 주변에서의 위험분위기 지속 시간 (Persistence Time) 이 모두 1시간 이내 (0.17 / 0.35 / 0.44 시간) 로 비교적 짧아 2중으로 구분하는 것이 폭발예방 안전 측면에서 여유 있는 수

준의 설정인 것으로 판단되었다. 위험성평가를 기반으로 하는 인화성 액체 취급장소 및 NG 사용 보일러실 등의 폭발위험장소 설정관련 기술지침 (KOSHA Guide E-138-2015)에서 '폭발분위기 생성시간이 연간 1시간 미만 (0.01 % 생성확률) 인 경우 해당 장소를 비위험장소 (Non-Hazardous Area) 로 구분할 수 있다' 라고 기술하고 있다.

<Table 4> Decision Matrix for Hazardous Area Classification

Grade of Release	Ventilation Degree						
	High			Medium			Low
	Ventilation Availability						
	Good	Fair	Poor	Good	Fair	Poor	Good, Fair, Poor
Continuous	(Zone 0 NE)(* Non-Hazardous	(Zone 0 NE) Zone 2	(Zone 0 NE) Zone 1	Zone 0	Zone 0 + Zone 2	Zone 0 + Zone 1	Zone 0
Primary	(Zone 1 NE) Non-Hazardous	(Zone 1 NE) Zone 2	(Zone 1 NE) Zone 2	Zone 1	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 or Zone 0
Secondary	(Zone 2 NE) Non-Hazardous	(Zone 2 NE) Non-Hazardous	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1 and Zone 0

(*)NE : Negligible Extent, '+' signifies 'surrounded by'

각 설비의 누출 가능 Point (Location) 별 폭발위험 장소 종별 (Type of Hazardous Area) 구분 및 위험

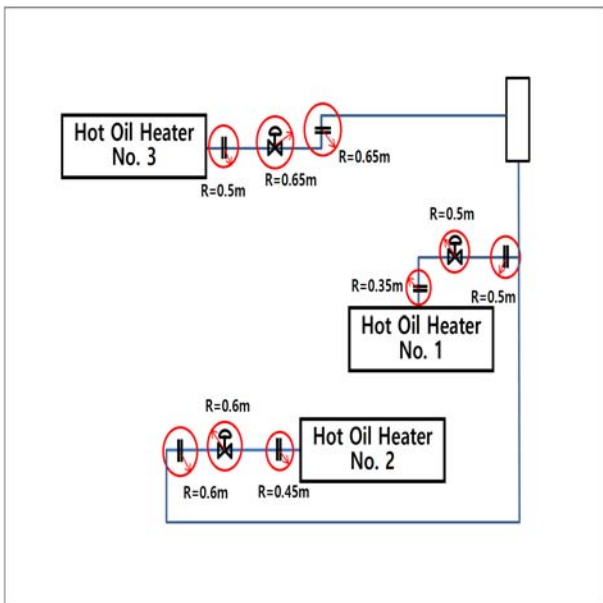
반경 (Hazardous Radius) 계산 결과는 <Table 5> 와 같다.

<Table 5> Hazardous Radius and The Type of Hazardous Area

Facility	Location	Hypothetical Volume (m3)	Hazardous Radius (m)		Persistence Time (hr)	Type of Hazardous Area
			Calculated	Rounded		
Hot Oil Heater No.1	Piping Flange	0.42	0.465444	0.5	0.17	2중
	Burner Flange	0.17	0.342942	0.35		
	Control Valve	0.42	0.465444	0.5		
Hot Oil Heater No.2	Piping Flange	0.89	0.596234	0.6	0.36	2중
	Burner Flange	0.36	0.439309	0.45		
	Control Valve	0.89	0.596234	0.6		
Hot Oil Heater No.3	Piping Flange	1.09	0.638963	0.65	0.44	2중
	Burner Flange	0.44	0.470792	0.5		
	Control Valve	1.09	0.638963	0.65		

2.3.5 폭발위험장소 구분 도면 작성

폭발위험장소 구분 도면 (Hazardous Area Drawing) 은 [Figure 2] 와 같다. (폭발위험장소 구분 도면은 일반적으로 설비배치도 상에 작성하나 구분 범위가 적어 표시가 곤란한 경우 P&ID 상에 표시하는 경우가 있으며, 본 연구에서는 해당 지역의 개략 도면을 작성하여 폭발위험장소 범위를 나타내었다). 폭발위험장소 중별은 해당 위험반경 내부 범위에 대해 2중 지역이며, 위험반경은 Hot Oil Heater 1호기는 0.35 ~ 0.5, 2호기는 0.45 ~ 0.6, 3호기는 0.5 ~ 0.65 m 범위로 산정되었다.

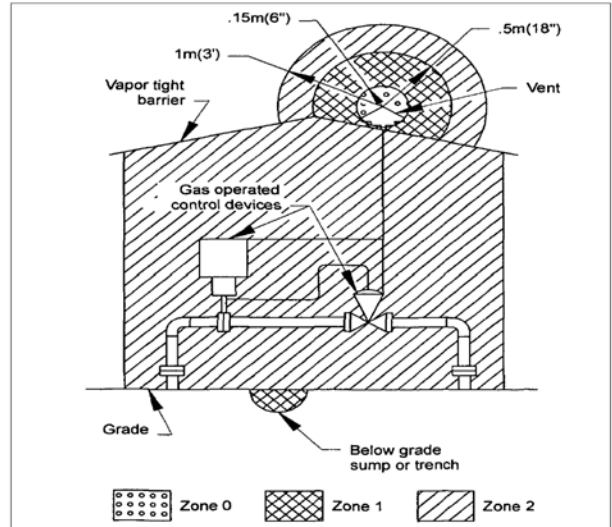


[Figure 2] Hazardous Area Classification for Hot Oil Heater Process

3. 폭발위험장소 구분 비교 검토

3.1 API 기준에 의한 폭발위험장소 구분

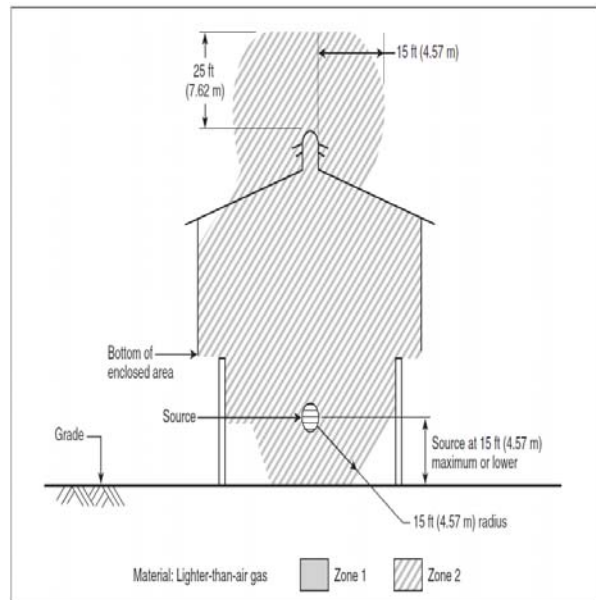
API RP 505 기준에 의하면 [Figure 3]에서 보는 바와 같이 NG 와 같은 공기보다 가벼운 가스의 밀폐계(실내) 누출에 대비한 폭발위험장소 구분은 누출 지점 주변만 위험 반경으로 관리하는 것이 아니라 해당 누출 가능 설비가 존재하는 건물 내부 공간 전체를 폭발위험장소로 구분하여 관리하도록 권고하고 있다.



[Figure 3] Hazardous Area Classification for Flammable Gas in an Adequately Ventilated Enclosed Area (API RP 505)

3.2 NFPA 기준에 의한 폭발위험장소 구분

NFPA 497 기준에 의하면 Figure 4.에서 보는 바와 같이 NG 와 같은 공기보다 가벼운 가스의 밀폐계(실내) 누출에 대비한 폭발위험장소 구분은 누출 지점 주변만 위험 반경으로 관리하는 것이 아니라 해당 누출 가능 설비가 존재하는 건물 내부 공간 전체를 폭발위험장소로 구분하여 관리하도록 권고하고 있다.



[Figure 4] Hazardous Area Classification for Lighter than Air Gas in an Adequately Ventilated Enclosed Area (NFPA 497)

3.3 API 및 NFPA 기준에 의한 폭발위험장소 구분에 대한 고찰

API 및 NFPA 기준은 정유 및 석유화학공정의 고온 고압의 운전 설비에 적용할 수 있는 것으로 본 연구에서 대상이 되는 상온, 저압 설비에 적용하는 것이 수치적으로 폭발위험 범위를 정량화 분석하는 데는 적합하지 않을 수 있다. 그렇지만 인화성 물질이 존재하는 유사 설비/건물에서 누출 시 폭발 예방을 위하여 어떻게 해당 설비 및 주변 지역이 관리되어야 하는지에 대한 위험관리의 기본적 개념을 이해하고 적용할 수 있는 좋은 참고 기준이 될 수 있다.

4. 폭발 예방 위험관리 방안

4.1 누출 시 대비 점화원 (방폭 기기) 관리

실제 공장 현장에서는 지형적인 구조와 공정 시설 및 건축물의 장애로 인하여 누출된 가스가 서서히 확산되면서 공장 내부 일부 또는 전체 지역에 일정 시간 체류할 수도 있다. 그런데 본 연구 2 항 폭발위험장소 구분 범위 및 도면에서 보여지는 것처럼 현 국내 폭발위험장소 구분 법적 기준을 적용할 경우 누출 가능 설비 주변 일부 지역만 방폭 적용 구역으로 선정할 수 있게 되어, 해당 지역 전기 기기에 방폭 형식을 적용하더라도 그 외 지역에서의 가스 화재 폭발 가능성은 비록 상당히 낮은 확률이라도 여전히 존재하게 된다. 그러므로 본 연구 3항에서 검토한 사항처럼 단위 설비 주변 일부 지역이 아니라 해당 설비 설치 건물 내부 전체 또는 단위 공정 전체 지역에 대해 폭발위험장소를 설정할 필요가 있다. 물론 설비의 규모, 인화성 물질의 취급량 및 환기 조건을 고려하여 설정 범위를 다소 증가 / 감소할 수는 있을 것이다.

폭발위험지역을 설정한 이후 폭발위험장소 종별에 맞게 적용되는 전기기기에 대한 방폭 형식에는 본질안전, 내압, 압력, 유입, 사입, 안전증 등이 있으며, 천연가스 취급지역은 천연가스의 자연발화온도 및 폭발위험등급을 고려하여 'IIA T1' 등급 이상의 전기기기가 선정되어야 한다.

대상 사업장에서는 해당 건물 내부 Hot Oil Heater NG 공급 시설 전기 설비에 대한 방폭기기 선정 기준을 작성하여 설치된 전기기기에 방폭형식을 적용하였다.

4.2 누출 조기 감지 및 누출 지속 차단

천연가스가 누출되더라도 냄새 및 색상으로 식별할 수 없고 공기보다 가벼워 누출되면 바로 건물 상부로 확산되어 지므로 설비의 상부 환기 배출구 쪽에 가스감지기를 설치하도록 한다. 실제로는 누출 예상 Point 가 여러 곳이지만 그렇다고 가스 감지기를 여러 곳에 각각 설치하기에는 과도한 측면도 있으므로 누출이 예상되는 플랜지 등 배관 연결 부위에 Leak 확인용 Tape를 부착해 두는 기본적 조치를 고려할 필요가 있다.

또한 누출이 지속되어 누출량이 늘어날수록 폭발위험범위 및 피해영향범위가 확대되므로 가능한 한 누출 개시 후 신속하게 누출이 차단되어야 한다. 우선 누출을 차단할 수 있는 차단밸브가 설치되어야 하고 이 밸브는 가스 누출 감지기와 연동되어 감지기가 기준치 이상 농도의 가스 누출을 감지한 경우 자동으로 작동될 수 있도록 운전시스템을 설계한다.

대상 사업장에서는 해당 건물 내부 Hot Oil Heater NG 공급 시설 주변에 방폭형 가스누출감지기와 경보(Alarm) 시설을 설치하여 운영하고 있으나, 차단설비(Valve)의 경우는 수동 조작으로 운용하고 있다. 향후 정량적 위험성평가 수행결과에 따른 차단 설비의 가스 감지기 연동 자동 작동 여부 필요성 검증이 필요하겠다.

4.3 환기 시스템 신뢰도 유지

가스 누출 시 폭발분위기 형성은 환기의 유효성 정도에 따라 크게 영향을 받아, 환기 시스템이 제 기능을 수행하지 못할 경우 건물 내부 전체가 폭발 위험 분위기가 조기에 형성되고 장기간 지속될 수 있으므로 평상시 환기시스템 신뢰성 확보를 위한 점검 유지 보수 절차를 체계적으로 시행하고, 필요하다면 환기시스템의 작동 불능에 대비한 예비 대체 시스템의 추가 설치도 고려하도록 한다. 환기 시스템의 신뢰성은 가스 누출 가능 설비 및 지역에서 조기에 결정된 폭발위험지역 종별 및 범위를 변경 조정하는 검토를 수행하게될 경우 주요한 고려 인자가 된다.

대상 사업장의 해당 건물 내부에는 환기용 송풍기가 설치되어 있으나 보조(Stand-by) 송풍기는 설치되어 있지 않아 환기 시스템의 신뢰성이 아주 우수한 편은 아니지만 주기적인 점검과 평상 시 작동 상태 확인으로 환기 수준은 양호하다고 할 수 있다.

4.4 비상 시 대비 및 대응

상기 (4.1 ~ 4.3 항) 안전방호체계 설계 반영을 통하여 폭발위험도가 상당한 수준으로 낮아졌다 하더라도 누출 및 화재 폭발의 가능성이 완전하게 제거되었다고 볼 수는 없기 때문에 최종 보완적으로 관리적인

측면에서의 비상대응 계획 수립 및 평상 시 대비 활동도 필요하다고 하겠다. 최근 화학물질관리 관련법에서 시행되는 장외영향평가/위해관리계획서 작성 제도를 참조하여 정량적 피해범위 예측 검토를 실시한 결과를 반영한 비상대응계획을 수립하고 평상 시 대응 훈련 및 비상대응설비 관리를 체계적으로 실시하도록 한다. 대상 사업장은 회사 자체 NG 누출에 대한 비상대응계획이 작성되어 있고 주기적인 훈련이 실시되고 있으나 향후 정량적 위험성평가 실시 및 그 결과를 반영한 비상대응계획의 개정 보완이 필요하겠다.

4.5 공정 방폭구분 관련 개정 기준 적용

IEC 60079-10-1(2015) 기준이 이미 시행되고 있고, 기존 IEC 60079-10-1(2012) 기준에 따라 작성된 국내 KS C IEC 60079 (2012) 도 개정이 추진되고 있다. 개정 IEC 기준은 기존 기준보다 폭발위험장소 설정에 있어서 환기의 효과를 강조하여 누출된 인화성 물질에 대한 희석 수준(Degree of Dilution) 이라는 새로운 개념을 도입하였다. 향후 기술 및 경험적으로 보완된 개정 IEC 기준을 폭발위험장소 구분에 적용하는 것이 유해위험물질 (인화성가스, 액체 등)을 취급하는 사업장의 위험관리에 바람직한 방향이라 하겠다.

5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 상온, 저압 (0.5 kg/cm² 이하) 의 도시가스 (NG) 가 사용되는 열매체 가열기 설비를 연구 대상으로 하여 가스 취급시설에서의 폭발 위험 방지를 위한 몇가지 방안이 제시되었다.

우선 KS C IEC 60079 기준(2012년) 에 따라 계산된 폭발위험범위 가상체적의 적용 및 API/NFPA 기준의 비교 검토 결과 해당 설비가 설치된 건물 내부 및 단위 공정지역 공간 전체를 2중 폭발위험장소로 설정하고 해당 지역에는 2중 장소에 적용 가능한 방폭형식의 전기 기기를 설치하는 것이 적합하다. 다만 설비가 건물 내부에 설치된 경우 안전성을 확보하면서 추가적으로 경제성을 고려한다면 건물 내부 환기 방식 및 건물 구조의 최적 설계를 통하여 해당 건물 내부 공간 전체를 방폭 지역으로 하기 보다는 누출 지점 인접지역만 방폭지역(위험 반경) 으로 선정하여 관리하는 시도도 권장할 만하다.

폭발위험장소 설정 관리 외에 추가적으로 폭발위험 관리 방안으로 적용될 수 있는 사항으로는 누출 조기 감지를 위한 가스감지기 설치, 누출 조기 차단을 위한

누출감지기 연동 차단 밸브 설치, 환기 시스템의 신뢰도 증진, 누출/화재/폭발 대비 비상대응 준비태세 확보 등이 있다.

상기 위험관리 방안 들을 제대로만 적용하고 준수한다면 폭발위험의 가능성은 무시할 정도로 낮아질 수 있음을 예상할 수 있다. 그렇지만 다양한 산업계에서 발생하는 사고 사례를 살펴보면 사고 발생의 예방은 설비에 대한 안전방호 설계 및 체계화된 절차서보다는 해당 설비를 운용하는 회사 및 구성원들의 위험관리를 위한 의지와 노력이 보다 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서 대상 공정의 방폭지역 종류 및 범위 계산에는 IEC 60079-10-1(2012) 및 KS C IEC 60079 (2012)을 적용함으로써 개정된 IEC 60079-10-1(2015) 의 새로운 기준의 경향을 반영하지 못하였고 (국내 기준인 KS C IEC 60079 (2012) 이 개정되지 않은 점 고려), 방폭 구역 및 범위설정 시 주요 요소인 환기 수준을 적용함에 있어서 기준에 제시된 수치를 그대로 적용하면서 실제 환기가 어떻게 진행되는지 3-D 모델링을 통한 검증은 수행하지 않은 연구의 한계가 있다. 향후 이 점에 대한 보완 연구가 필요하며 그 연구 결과가 다양한 제조 사업장에서의 방폭 관련한 위험관리에 상당한 도움이 될 것으로 기대된다.

6. References

- [1] Sang Won Choi, 'Electrical Safety : Technical/Systematic Approach to Safety Assesment of Thermoprocessing Equipment Consuming LNG for Classification of Hazardous Area', Journal of the Korean Society of Safety, Vol.26 No.5, pp. 33-40, 2011.
- [2] Ji Pyo Yim and Chang Bock Chung, 'A Study on Classification of Explosion Hazardous Area for Facilities using Lighter-than-Air Gases', Journal of the Korean Society of Safety, Vol.29 No.2, pp. 24-30, 2014.
- [3] Sangil Han, Dongwook Lee and Kyu-Suk Hwang, "A Study on the Prediction of Explosion Risk for the Low Pressure Natural Gas Facilities with Different Explosion Conditions", Journal of the Korean Institute for Gas, Vol.20 No.3, pp. 59-65, 2016.
- [4] KS C IEC 60079-10-1,2012 : Explosive

- atmospheres – Part 10-1 Classification of areas – Explosive gas atmospheres.
- [5] IP 15 : Model Code of Safe Practice for the Petroleum Industry, Part 15 : Area Classification Code for Petroleum Installations Handling Flammable Liquids.
- [6] IEC 60079-10-1, 2015 : Explosive atmospheres – Part 10-1 Classification of areas – Explosive gas atmospheres.
- [7] KOSHA Guide E-138-2015, The Technical Guide of Risk Assessment Based Classification of Hazardous Area for Natural Gas Using Boiler.
- [8] API RP 505 : Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Zone 0, Zone 1 and Zone 2.
- [9] NFPA 497 : Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas.

저자 소개

장 철



인천대학교 대학원 안전공학과
박사과정 재학중
주소: 인천광역시 연수구 아카데미로 119(송도동)

황 명 환



인하대학교 전기공학과 학사, 일
본대학교 전기공학과 석사, 박사
취득. 현재 국립인천대학교 안전
공학과 교수로 재직중
관심분야 : 전기안전

권 진 욱



단국대학교 전기공학과 학사,
석사 취득, 국립인천대학교 안
전공학과 박사과정 재학 중. 현
재 한국산업기술시험원 인증산
업본부 수석연구원 재직중.
관심분야 : 전기용품 안전 및
표준